

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.04.014

淮河流域取水工程设计优化分析

吴伟, 周晨, 吴昊, 朱亮, 刘圣宾
(南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210008)

摘要: 颍上县城市地表水厂及配套管网工程总规模为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其中取水工程包括取水头部、水源厂及取水泵房, 以及两条DN1 400钢管引水管线。该工程根据水文及地质等资料, 优化了工程选址和方案, 采用岸边式取水头部, 枯水期沉井施工, 避免了在滩地水下开挖作业, 既缩减了工期也节省了造价, 降低了施工风险。取水泵房采用便于管理的堤内式泵房, 双格沉井施工, 沉井周围布置一排高压旋喷桩作为隔离桩, 减小沉井下沉对大堤的影响。工程中引水管线采用顶管方式穿越大堤, 施工中必然会造成地层损失, 引发大堤沉降, 采用PECK经验法对沉降进行估算, 并采取高压摆喷注浆对顶管扰动后的土体进行再次加固。目前该工程已顺利通水, 运行状况良好。

关键词: 取水头部; 顶管; 堤防沉降; 地层损失; PECK经验法

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)04-0082-06

Design Optimization of a Water Intake Project in Huaihe River Basin

WU Wei, ZHOU Chen, WU Hao, ZHU Liang, LIU Sheng-bin
(Nanjing Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing 210008, China)

Abstract: The total scale of urban surface water plant and supporting pipe network project in Yingshang County is $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The water intake project includes intake head, water source plant, pumping house and two DN1 400 steel pipes water diversion pipelines. The site selection and scheme of the project were optimized according to hydrology and geological data. The selection of shore-type water intake head and caisson construction in dry season avoided underwater excavation in the beaches, reduced the construction period, saved the construction cost and reduced the construction risk. The pumping house is dike pump house which is easy to manage. It was constructed by double-cell caisson method, and a row of high-pressure jet grouting piles were arranged around the caisson as isolation piles to reduce the impact of caisson sinking on the dike. In the project, the water diversion pipeline crossed the dike by using pipe jacking method. However, the construction would inevitably cause stratum loss and settlement of the dike. Therefore, the settlement of the dike was estimated by PECK empirical method, and the soil disturbed by pipe jacking was reinforced again by high-pressure swing jet grouting. At present, the project has successfully delivered water and runs well.

Key words: intake head; pipe jacking; dike settlement; stratum loss; PECK empirical method

取水工程是城镇给水系统的重要组成部分,但其建设地点和形式受自然条件和环境影响甚大,且工程内容庞杂,受到堤防保护、航道安全等因素制

约。颍上县城区生产、生活用水全部采用地下水,随着经济的快速发展,城区范围的扩大,人口的增长,生活、生产用水量不断增加,而近期城区规划将

逐步取消地下水源,所以利用淮河地表水作为供水水源,建设地表水厂势在必行。以该项目中的淮河流域取水工程为例,分析了取水头部、取水泵房、取水管线的选址和选型方案,以及设计和施工要点,为类似取水工程的推进提供参考。

1 取水工程概况

该工程位于淮河流域,工程总规模 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中取水工程按总规模 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,建设有取水头部、水源厂及取水泵房,以及两条 DN1 400 钢管引水管线;净水厂按总规模 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计,一期建设规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;浑水管线长度为 18.5 km。本工程的建成通水,将结束当地一直以地下水作为单一饮用水源的历史。

2 取水工程选址及方案选型

2.1 取水头部选址

取水头部位置选择受到多方面因素的制约,其中包括取水河段流经特征、河床演变、岸坡稳定性、行洪要求、航道要求、现有水工构筑物^[1](如大堤、桥梁、排污口等)。

本工程取水工程布置方案见图1,原取水头部位置采沙场已整治搬迁,但其下游 50 m 处合流排污口润河集排涝涵近期难以整治达标,且迁移存在难度,所以应根据现场情况,对取水口位置进行调整。

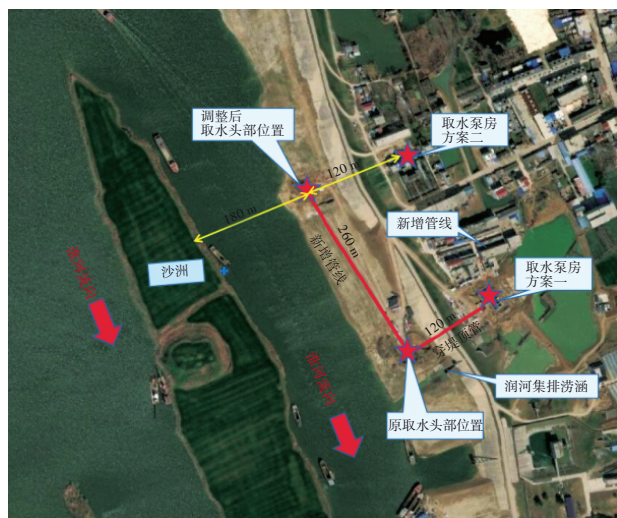


图1 取水工程布置方案

Fig.1 Layout scheme of water intake project

调整方案将原设计取水头部沿淮河向北移 260 m(见图1)。调整后,润河集排涝涵位于水源地二级保护区范围之外,距离取水头部约 300 m,可以满足

当地集中式饮用水源地保护区划区方案的相关要求。

2.2 取水泵房选址

根据现场地形及建(构)筑物情况,取水泵房位置有两个方案可以选择(见图1),具体内容如下:

方案一:距离调整后取水头部约为 380 m,该处现状为坑塘洼地,局部有少量房屋。

方案二:位于调整后取水头部的大堤背水一侧,距离为 120 m,该处现状有大量房屋。

比较两个方案,方案一场地房屋较少,拆迁方便,但距离调整后取水头部较远,取水管线增加了 260 m 且需要设置转弯顶管工作井。方案二距离调整后取水头部最近,但是场地有较多房屋,拆迁工程量巨大,且影响当地居民的正常生活。经综合比较,方案一拆迁量小,更为可行。

2.3 取水头部选型及施工

固定式取水构筑物常用的取水方式有:岸边式和河床式两种。

岸边式方案见图2,取水头部位于河道岸边,需开挖引水槽,将淮河水引入取水口;河床式方案见图3,取水头部需深入淮河河床,再通过进水管流入进水间。

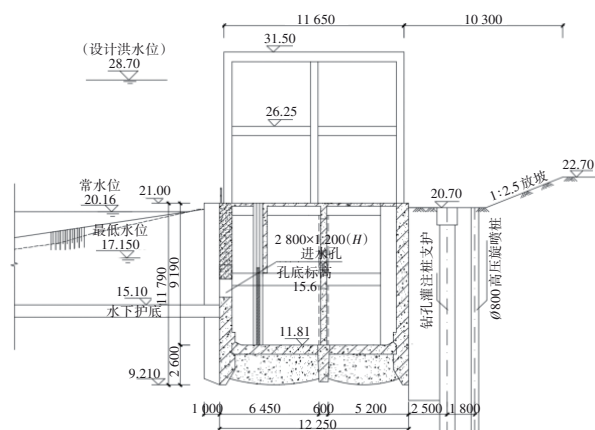


图2 岸边式取水方案

Fig.2 Shore-type water intake scheme

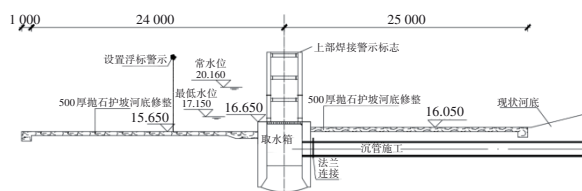


图3 河床式取水方案

Fig.3 Riverbed water intake scheme

河床式方案缺点是该流域枯水期,河道水位较浅,无法满足航道通航要求;岸边式方案缺点是该处岸边没有足够的水深取水。

根据上述情况并结合防洪评价报告、航评报告综合比较这两种取水方案,采用岸边式方案更为合适。位置被限定在距北副坝迎水侧坡脚26 m处的浅滩(见图1),取水头部平面布置见图4。通过开挖引水槽引水来解决岸边水深不足的问题,引水槽深度为2.0~6.6 m。

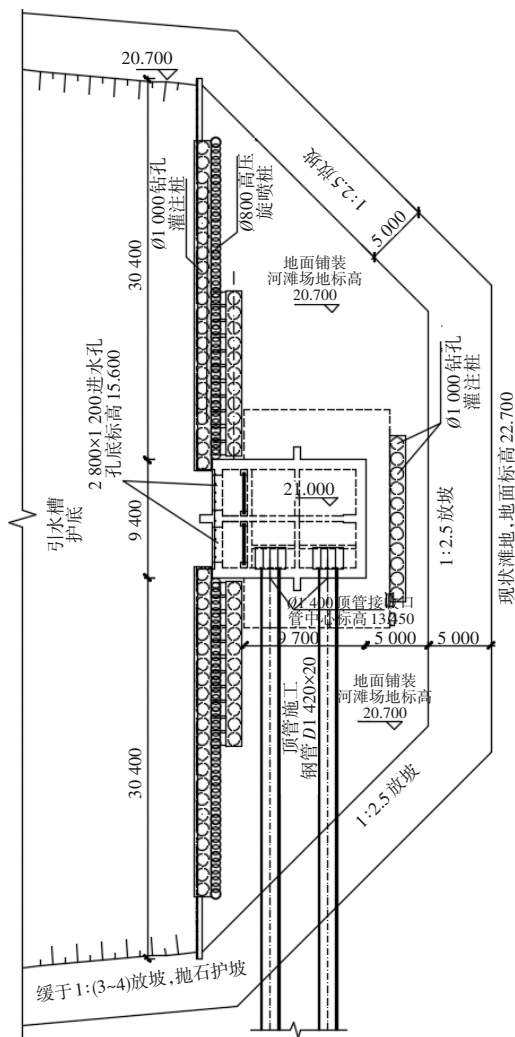


图4 取水头部平面布置

Fig.4 Layout of intake head

取水头部为带框架沉井兼作顶管接收井,长12.25 m,宽9.40 m,壁厚为800 mm。沉井顶标高21.700 m,沉井底标高12.210 m,刃脚底标高9.610 m,总深度为12.09 m,埋深较深,不利于采用大开挖施工,所以采用沉井施工。沉井既作为取水设施,

同时也作为岸边引水槽一侧的支护挡墙结构。

施工步骤为沉井制作、沉井背面灌注桩施工(灌注桩达到强度要求)→沉井下沉→沉井封底,底板施工→顶管→沉井内格栅凹槽施工→沉井两侧灌注桩施工→进水槽开挖、膜袋混凝土护坡、抛石护底。待沉井两侧灌注桩施工完成且达到强度要求后,针对进水槽进行水下开挖施工。进水槽处渐变放坡,坡度为1:(3~4),放坡范围内采用膜袋混凝土护坡,现场施工情况见图5。



图5 取水头部施工

Fig.5 Construction of intake head

取水头部控制防洪闸门的启闭机、滩地上预留的3个0.5 m×0.8 m混凝土柱体以及钢制构件体积较小,仅占用河道行洪断面13.6 m²,根据壅水计算结果,本工程基本不产生壅水。取水工程处的水位、流速变化不大,不会影响到河道水流流态。根据冲刷计算结果,遭遇10年一遇洪水时,淮河滩地冲刷深度0.4 m,基本不改变行洪时河道流态,基本不会改变河势总的演变趋势。取水头部建设对该段河道河势的影响较小,基本不会改变河道的原有演变趋势,同时也满足防洪要求。

2.4 取水泵房选型及施工

取水泵房采用安全性好、管理方便的堤内式取水泵房。水源厂及取水泵房布置见图6。吸水井与取水泵房合建,分为独立工作的二格,尺寸为24.6 m×14.0 m,埋深约15 m,泵房高度为18.67 m,周边平台为配套区域,设置加药间、工具间、配电间等设施。

由于埋深较深,且距离大堤管理范围较近,取水泵房采用双格沉井方案。周边配套的工作平台采用钻孔灌注桩基础混凝土框架结构。沉井距离堤脚约20 m,为减小沉井施工对大堤的影响,在沉井周围布置一排高压旋喷桩作为隔离桩,以减小沉

$$Be_1 = 1\,450 \times \{ [1 + \sin(45^\circ - 21^\circ/2)] / \cos(45^\circ - 21^\circ/2) \} = 2.76 \text{ m}.$$

$$Be_2 = 1\,450 \times \{ [1 + \sin(45^\circ - 13^\circ/2)] / \cos(45^\circ - 13^\circ/2) \} = 3.00 \text{ m}.$$

本工程管道间距 $5 \text{ m} > \text{Max}(Be_1, Be_2)$, 且不小于2倍的管道外径, 此间距顶管是安全的, 可避免相互影响。

3.4 顶管穿堤坝沉降计算

在顶管顶进施工中, 影响地面变形的主要因素为正面推力、摩擦力和土体损失, 施工应力作用效果、影响范围和时间有限, 而土体损失在土体变形中起主导作用。

土体损失由于顶进中的超挖、管道与周围土体之间的空隙、顶进纠偏、注浆时浆液与土层的摩擦力对外围土体产生拖带效应等原因, 使得管道与土体之间形成环状空隙。地层损失空隙的形成是顶管施工影响土体变形的一大因素, 常采用PECK提出的地面沉降槽理论进行预估^[3]。

沉降计算公式如下:

$$S(x) = S_{\max} e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (2)$$

$$S_{\max} = \frac{V_{\text{loss}}}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \quad (3)$$

$$i = \frac{h}{\sqrt{2\pi} \cdot \tan(45^\circ - \psi/2)} \quad (4)$$

式中: x 为地表与顶管轴线的水平距离, m; $S(x)$ 为 x 处地表沉降值, m; S_{\max} 为顶管轴线上方地表沉降最大值, m; V_{loss} 为顶管单位长度的土体损失量, m^3/m ; i 为地面沉降槽宽度系数。

由公式可知, 由于土层损失, 在顶管轴线附近形成“沉降槽”, 其曲线采用正态分布函数表示^[4]。式中, $x=0$ 为位于管顶正上方, 该处沉降位移最大。

本工程采用PECK曲线预估顶管工程对大堤沉降的影响, 比较计算了管道埋深为5、9.25、15、18 m时大堤的沉降值, 计算结果见图9。

顶管埋深为5、9.25、15、18 m时, 管顶地表沉降值分别为6.02、3.26、2.01、1.51 mm。可见, 地表沉降值随着管道埋深增大而逐渐减小, 同时随着与管线水平距离的增大而减小。本工程在堤脚处顶管埋深为9.25 m, 在堤顶处, 顶管埋深为18 m, 最大地表沉降为3.26 mm, 影响范围约为10 m。可见, 施工顶管穿堤对堤防影响较小。

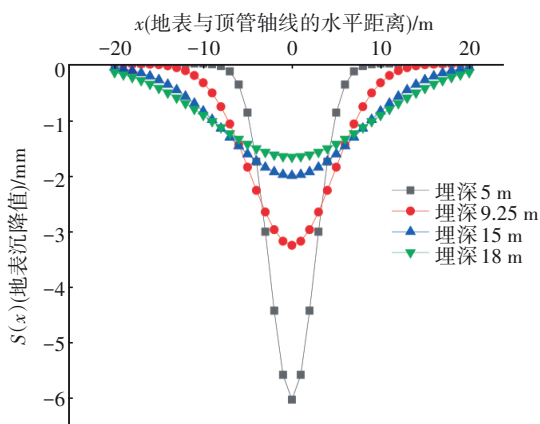


图9 土层损失引起的地表沉降

Fig.9 Surface settlement caused by stratum loss

4 顶管穿堤工程补偿方案

顶管穿越堤防, 必然会在管道与土体之间形成环状空隙, 在施工中采用水泥砂浆置换触变泥浆, 但注浆效果及质量并不理想。为防止顶管外周形成接触渗漏通道, 仍需要采取必要的防渗措施。

根据当地管理部门相关要求及经验, 采用高压摆喷注浆方案对穿堤段的顶管外周进行防护, 在管道外周形成连续密闭的地下防渗体, 从而封堵顶管造成的渗漏通道, 提高顶管穿堤部位的北副坝堤身的防渗能力。

考虑到工程位置地层分布主要为黏土, 且顶管埋置深度较大, 同时考虑到北副坝堤防等级为一级, 应采用高压摆喷注浆方案, 可实现顶管四周的密闭桩体。摆喷钻孔轴线位于顶管中心线两侧各1.3 m, 孔距为1.5 m, 钻孔孔深为顶管中心以下3.0 m, 摆角 90° ; 灌浆材料, 采用强度等级为42.5号普通硅酸盐水泥, 浆液密度不小于 1.6 g/cm^3 , 水灰比为1.0左右, 墙体28 d抗压强度 $\geq 5 \text{ MPa}$, 渗透系数 $K \leq 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。平面布置长度为40 m, 平面布置见图10。

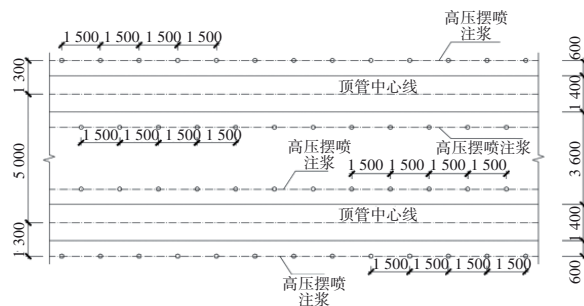


图10 高压摆喷平面布置

Fig.10 Plane layout of high-pressure swing jet

5 取水头部的保护

由于取水口设置在淮河左汊的北岸滩地,取水工程运行过程中,水流作用会对开挖的边坡产生冲击,为了保证取水头部附近的岸坡稳定,应采取一定的护坡护岸措施。取水头部采用渠道引水、岸边式取水的方式,在滩地近河槽位置进行开挖,相应的开挖范围均进行护砌,具体的护砌范围为取水头部上游50 m、下游100 m岸坡。水上采用C20混凝土连锁块护坡、水下采用自适应球体模袋护岸。取水头部范围内应由有关部门设置警示设施,避免船只碰撞。

6 运行效果

2019年11月,取水头部投入使用,水源厂泵房开机运行,通过18.5 km长的浑水管线将2 300 m³/h的淮河水引入新建净水厂,顺利完成通水,可以服务该区域60万人口,结束了该地区一直使用地下水作为饮用水源的历史。

7 结语

① 取水工程设计包含的内容庞杂,且受到堤防保护、航道安全等因素制约,所以工程方案应充分结合现状,考虑取水头部及取水泵房的选址和选型。取水头部沉井,以及转角处圆形沉井工作井均在枯水期施工,尽量避免水下开挖作业。大堤堤脚与取水泵房沉井位置距离约20 m,位于沉井下沉影响范围之外。

取水泵房沉井施工时,周边采用高压旋喷桩封闭,以减小对大堤的影响。

② 为避免双排顶管施工时相互扰动,顶管中心间距应不小于顶管扰动宽度。

③ 顶管施工必然会造成地层损失,采用PECK法估算大堤沉降,计算不同深度及水平距离受到的顶管施工的影响。顶管覆土越浅,沉降越大,对堤防越不利。

④ 为保证顶管施工后顶管周围土体的防渗

封闭效果,采用高压摆喷注浆方案对穿堤段的顶管外周进行防护,在管道外周形成连续密闭的地下防渗体,从而封堵顶管造成的渗漏通道,提高顶管穿堤部位的北副坝堤身的防渗能力。

参考文献:

- [1] 周金全,胡金鉴,雷年生,等. 地表水取水工程[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
ZHOU Jinquan, HU Jinjian, LEI Niansheng, et al. Surface Water Intake Project [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005 (in Chinese).
- [2] 李进. 双排顶管工程穿越京杭运河应考虑的因素[J]. 中国给水排水,2011,27(14):105-108.
LI Jin. Factors needing consideration for Beijing-Hangzhou grand canal crossing project with double row pipe jacking[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27 (14): 105-108(in Chinese).
- [3] 魏刚,吴华君,陈春来. 顶管施工中土体损失引起的沉降预测[J]. 岩土力学,2007,28(2):359-363.
WEI Gang, WU Huajun, CHEN Chunlai. Prediction of settlement induced by ground loss during pipe jacking construction [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28 (2): 359-363(in Chinese).
- [4] 姜忻良,赵志民,李园. 隧道开挖引起土层沉降槽曲线形态的分析与计算[J]. 岩土力学,2004,25(10):1542-1544.
JIANG Xinliang, ZHAO Zhimin, LI Yuan. Analysis and calculation of surface and subsurface settlement trough profiles due to tunneling [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(10): 1542-1544(in Chinese).

作者简介:吴伟(1982-),男,江苏南京人,硕士,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事给排水结构设计、咨询、研究等工作。

E-mail:107352128@qq.com

收稿日期:2021-04-23

修回日期:2021-06-01

(编辑:孔红春)